

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-162805

(43)公開日 平成9年(1997)6月20日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 04 B 10/02			H 04 B 9/00	M
	10/18		G 02 F 1/35	
G 02 F 1/35			H 04 B 9/00	J
H 04 B 10/17				E
10/16				

審査請求 未請求 請求項の数17 OL (全9頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平7-314976

(22)出願日 平成7年(1995)12月4日

(71)出願人 000001214

国際電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号

(72)発明者 秋葉 重幸

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号国際電
信電話株式会社内

(72)発明者 山本 周

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号国際電
信電話株式会社内

(72)発明者 鈴木 正敏

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号国際電
信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 田中 常雄

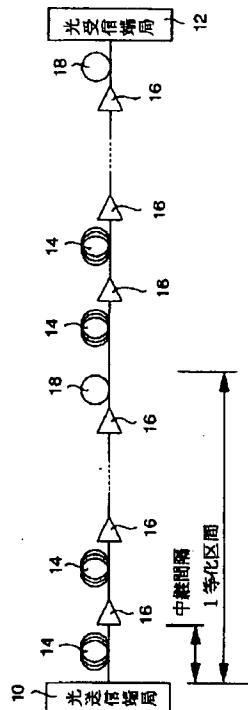
最終頁に続く

(54)【発明の名称】光伝送システム及び光中継器

(57)【要約】

【課題】波長分割多重方式で波長分散の波長依存性を解消する。

【解決手段】光送信端局10と光受信端局12との間で、伝送用光ファイバ14, 14, ... が光増幅中継器16, 16, ... を介して接続され、1等化区間に1つの等化ファイバ18が接続される。等化ファイバ18は、通常、等化区間の終端に配置される。伝送用光ファイバ14は例えば、1.5μm帯で波長分散がほぼゼロになる分散シフト・ファイバである。光増幅中継器16は、光増幅手段の他に、伝送用光ファイバ14の波長分散の波長特性とは逆の傾き(具体的には、波長に対してマイナスの傾き)の波長分散特性を具備する分散補償光学素子を具備する。その分散補償光学素子により、波長毎の累積波長分散の差を補償する。分散補償光学素子はファイバ・グレーティングにより実現される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光伝送路における波長分散の波長間の差を低減する1以上の分散補償光学手段を、当該光伝送路に設けたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項2】 上記分散補償光学手段は、所定波長範囲における上記波長分散の波長間の差を実質的にゼロにする請求項1に記載の光伝送システム。

【請求項3】 上記分散補償光学手段が、光ファイバ構造になっている請求項1又は2に記載の光伝送システム。

【請求項4】 上記分散補償光学手段が、ファイバ・グレーティング構造からなる請求項3に記載の光伝送システム。

【請求項5】 上記分散補償光学手段が光中継器に設けられている請求項1乃至4の何れか1項に記載の光伝送システム。

【請求項6】 上記光中継器が光増幅手段を具備する請求項5に記載の光伝送システム。

【請求項7】 更に、上記光伝送路に、特定波長における累積波長分散を補償する1以上の等化手段を設けてある請求項1乃至7の何れか1項に記載の光伝送システム。

【請求項8】 上記分散補償光学手段は、上記特定波長に対する分散補償量がゼロであり、他の波長の累積波長分散を、当該特定波長の累積波長分散に実質的に一致させるべく補償する請求項7に記載の光伝送システム。

【請求項9】 1以上の光伝送ファイバ、1以上の光中継器、及び特定波長における累積波長分散を補償する1以上の等化ファイバを具備する光伝送路と、光信号を当該光伝送路に出力する光送信手段と、当該光伝送路を伝搬した光信号を受信する光受信手段とからなる光伝送システムであって、当該光伝送路に、当該光伝送ファイバの波長分散波長特性とは逆の傾きの波長分散波長特性を具備する1以上の分散補償光学手段を設けたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項10】 上記分散補償光学手段は、上記特定波長に対する分散補償量が実質的にゼロであり、他の波長の伝送に伴う波長分散を当該特定波長の波長分散に実質的に一致させるべく補償する請求項9に記載の光伝送システム。

【請求項11】 上記分散補償光学手段が、上記光中継器に配置されている請求項9又は10に記載の光伝送システム。

【請求項12】 特定波長における累積波長分散を補償する1以上の等化手段を具備する光伝送システムに用いられる光中継器であって、当該波長分散の波長間の差を低減する分散補償光学手段を具備することを特徴とする光中継器。

【請求項13】 上記分散補償光学手段は、所定波長範囲における上記波長分散の波長間の差を実質的にゼロに

する請求項12に記載の光中継器。

【請求項14】 上記分散補償光学手段が、光ファイバ構造になっている請求項12又は13に記載の光中継器。

【請求項15】 上記分散補償光学手段が、ファイバ・グレーティング構造からなる請求項14に記載の光中継器。

【請求項16】 更に、光増幅手段を具備する請求項12乃至15の何れか1項に記載の光中継器。

10 【請求項17】 上記分散補償光学手段は、上記特定波長に対する分散補償量がゼロであり、他の波長の累積波長分散を、当該特定波長の累積波長分散に実質的に一致させるべく補償する請求項12乃至16の何れか1項に記載の光中継器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光伝送システム及び光中継器に関し、より具体的には、光ファイバによる長距離及び／又は広帯域の光伝送システム及び、当該光伝送システムに用いる光中継器に関する。

【0002】

【従来の技術】 光海底ケーブルなどの長距離光伝送システムでは、一般に、矩形光パルスを伝搬するNRZ (Non-Return Zero) 方式又は孤立光パルスを伝搬する光ソリトン伝送方式が用いられる。光ソリトン伝送方式は、光ファイバの非線形性と波長分散とをバランスさせることで、極短光パルスをそのパルス波形を一定に維持したまま長距離伝送させる方式であり、20 Gビット／秒の超高速伝送で、14,000 kmの超長距離伝送の成功が報告されている。

【0003】 何れの伝送方式でも、光ファイバの非線形性による伝送特性劣化を避けるため、伝送用光ファイバの波長分散が信号波長 λ_s において有限値になるように設計される。波長分散が非ゼロの有限値であることから、伝送距離に従い波長分散値が累積して徐々に大きくなり、伝送波形が大きく劣化する。

【0004】 そこで、波長分散の累積値を所定値内に制限する手段として、従来、伝送用光ファイバの間に逆の波長分散特性の分散補償ファイバ（等化ファイバとも呼ばれる。）を挿入し、全体としての波長分散をゼロ又は極く少ない値に制限する構成が提案されている。図10は、従来例の概略模式図を示す。光送信端局110と光受信端局112との間で、伝送用光ファイバ（1.5 μm帯で波長分散がほぼゼロになる光ファイバ（いわゆる分散シフト・ファイバ）が使用される。）114, 114, …が光増幅中継器116, 116, …を介して接続され、1等化区間に1つの等化ファイバ118が接続される。例えば、1本の伝送用光ファイバ114の長さは約40 km、1等化区間の距離は、NRZ方式

40 では約500 km、光ソリトン伝送方式では200 km

である。

【0005】図11は、各伝送距離における累積波長分散値を示す。図11(a)はNRZ伝送方式、同(b)は光ソリトン伝送方式であって、それぞれ、縦軸は累積波長分散、横軸は伝送距離を示す。通常、NRZ方式では、波長分散がマイナス側に累積するように設計されるが、光ソリトン伝送方式では逆に、波長分散がプラス側に累積するように設計される。

【0006】図12は、波長1, 500 nm帯の光増幅中継器116の概略構成図を示す。エルビウム・ドープ・ファイバ120にWDM(波長分割多重)カプラ122を介してポンプLD(レーザ・ダイオード)モジュール124の出力レーザ光を導き、エルビウム・ドープ・ファイバ120を励起するようになっている。WDMカプラ122の下流側には、反射光を遮断するための光アイソレータ126が配置されている。光ソリトン伝送方式用には、更に、光アイソレータ126の下流側に、光フィルタが配置されることもある。その光フィルタは、いわば、信号波長域の光信号のみを通過するバンドパス・フィルタである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】伝送容量を更に拡大する手段として、波長分割多重方式が有望視されている。図10に示すような波長分散補償方式の光伝送路に波長分割多重方式を適用しようとすると、以下のような不都合がある。即ち、伝送用光ファイバ114及び等化ファイバ118の波長分散特性は共に、波長に対して正の傾きを有することから、等化ファイバ118によりある波長の波長分散をゼロに補償できても、他の波長の波長分散をゼロに出来ない。

【0008】図13は、伝送用光ファイバ114及び等化ファイバ118の波長分散の波長特性の模式図を示す。縦軸は波長分散、横軸は波長を示す。NRZ伝送方式では、伝送用光ファイバ114を、1等化区間の累積波長分散が概略として特性Aになるように設計し、等化ファイバ118として特性Bになるように設計する。光ソリトン伝送方式では逆に、伝送用光ファイバ114を、1等化区間の累積波長分散が概略として特性Bになるように設計し、等化ファイバ118として特性Aになるように設計する。勿論、単位距離当たりの波長分散は、それとの伝送距離での累積値が、加算によりゼロ又は極く小さい値になるように設計される。

【0009】図13からも分かるように、ある波長入mで、伝送用光ファイバ114の波長分散を等化ファイバ118によりゼロにできたとしても、隣接する別の波長 λ_a , λ_b ではゼロにできない。このずれが伝送距離に従い累積し、無視できない大きさになる。図14は、3つの波長1, 555 nm, 1, 558 nm及び1, 561 nmを波長分割多重した場合の、伝送距離に対する累積波長分散を示す。図14(a)はNRZ方式の場合、

同(b)は光ソリトン伝送方式の場合であり、それぞれ縦軸は累積波長分散、横軸は伝送距離を示す。

【0010】例えば、NRZ伝送方式では、望ましい1 km当たりの波長分散が-2.0 ps/nm/km程度とされており、波長分割多重伝送方式を適用したとき、ある設計例では、1 km当たりの波長分散が、波長1, 558 nmで-2.0 ps/nm/km、波長1, 555 nmで-2.3 ps/nm/km、波長1, 561 nmで-1.7 ps/nm/kmであり、1 km当たりの波長分散の波長に対する傾きが0.1 ps/nm/km/nmになる。即ち、信号波長が3 nm異なると、1 km当たりの波長分散が0.3 ps/nm/kmだけ異なる。1等化区間の伝送用光ファイバ114の全長を500 kmとし、等化ファイバ118により波長 $\lambda_s = 1, 558$ nmでの累積波長分散がゼロになるように設計されているとすると、図14(a)に示すように、短波長側ではマイナス方向に、長波長側ではプラス方向に累積波長分散がずれてしまう。即ち、中心波長 $\lambda_s = 1, 558$ nm以外の波長では、等化ファイバ118によっても累積波長分散を補償し切れず、距離が長くなるほど、累積波長分散のずれ量が多くなる。

【0011】また、光ソリトン伝送方式では、1 km当たりの波長分散が0.4 ps/nm/km程度が望ましいとされており、波長分割多重伝送方式を適用したとき、ある設計例では、1 km当たりの波長分散が、波長1, 558 nmで0.4 ps/nm/km、波長1, 555 nmで0.19 ps/nm/km、波長1, 561 nmで0.61 ps/nm/kmである。1 km当たりの波長分散の波長に対する傾きが0.07 ps/nm/km/nmになり、信号波長が3 nm異なると、1 km当たりの波長分散が0.21 ps/nm/kmだけ異なる。1等化区間の伝送用光ファイバ114の全長を200 kmとし、等化ファイバ118により波長 $\lambda_s = 1, 558$ nmでの累積波長分散がゼロになるように設計されているとすると、図14(b)に示すように、短波長側ではマイナス方向に、長波長側ではプラス方向に累積波長分散がずれてしまう。光ソリトン伝送方式でも、中心波長 $\lambda_s (= 1, 558$ nm)以外の波長では、等化ファイバ118によっても累積波長分散を補償し切れず、距離が長くなるほど、累積波長分散のずれ量が多くなる。

【0012】本発明は、波長分割多重方式を適用した場合のこのような問題点を解決する光伝送システム及び光中継器を提示することを目的とする。

【0013】本発明はまた、波長分散の波長依存性を低減、例えは解消する光伝送システム及び光中継器を提示することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明では、分散補償光学手段により、光伝送路における波長分散の波長間の差

を低減し、例えば実質的にゼロにする。これにより、例えば、波長分割多重方式でも、波長間で波長分散量を一致させることができ、単一波長伝送方式での等化ファイバによる分散補償方式をそのまま適用して、長距離及び／又は広帯域伝送を図ることが出来る。

【0015】分散補償光学手段を光中継器に設けることで、分散補償光学手段の接続が容易になる。光中継器は光増幅手段を具備するのが好ましい。

【0016】分散補償光学手段が光ファイバ構造になっていることで、伝送用光ファイバなどとの接続が容易になる。分散補償光学手段は、例えば、ファイバ・グレーディング構造とすることで、波長分散の所望の波長特性を実現できる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の一実施の形態を詳細に説明する。

【0018】図1は、1.5μm帯における波長分割多重光伝送方式に適用した本発明の一実施例の概略構成を示す模式図である。光送信端局10と光受信端局12との間で、伝送用光ファイバ14, 14, …が光増幅中継器16, 16, …を介して接続され、1等化区間に1つの等化ファイバ18が接続される。等化ファイバ18は、通常、等化区間の終端に配置される。伝送用光ファイバ14は例えば、1.5μm帯で波長分散がほぼゼロになる光ファイバ（いわゆる分散シフト・ファイバ）である。

【0019】従来例と同様に、1本の伝送用光ファイバ14の長さ（即ち、中継距離）は約40km、1等化区間の距離はNRZ伝送方式では約200km、光ソリトン伝送方式で約500kmである。等化ファイバ18は、等化ファイバ118と同様に、中心の波長λs=1.558nmについて、1等化区間の伝送用光ファイバ14による波長分散を補償するように設計される。

【0020】本実施例の光増幅中継器16は、1.5μm帯の光信号を増幅すると共に、伝送用光ファイバ14の波長分散の波長特性とは逆の傾き（具体的には、波長に対してマイナスの傾き）の波長分散特性により波長毎の累積波長分散の差を補償する。これにより、例えば、3つの波長1.555nm、1.558nm及び1.561nmを使って波長分割多重するとして、伝送用光ファイバ14における波長1.555nm及び波長1.561nmの各波長分散を、波長1.558nmの波長分散に実質的に一致させる。この結果、各伝送用光ファイバ14における波長毎に異なる波長分散値が、光増幅中継器16により波長に依らない一定値に合わせられ、等化ファイバ18による等化後では、等化ファイバ18の波長依存性に基づく波長分散の差のみが、各波長の累積波長分散の差となって現われ、これはほとんど無視し得る。

【0021】NRZ伝送方式に適した光増幅中継器16

の概略構成を図2に示す。基本的には従来例と同じであるが、光出力側に波長に対してマイナスの傾きの波長分散特性を具備する分散補償素子を設けた点が異なる。エルビウム・ドーブ・ファイバ20にWDMカプラ22を介してポンプLD（レーザ・ダイオード）モジュール24の出力レーザ光を導き、エルビウム・ドーブ・ファイバ20を励起するようになっている。WDMカプラ22の下流側には、反射光を遮断するための光アイソレータ26が配置され、更にその下流側に、この光増幅中継器16の前段に接続される伝送用光ファイバ14の波長分散の波長毎のずれを補償する分散補償光学素子28を接続してある。

【0022】NRZ伝送方式で分散補償光学素子28に要求される波長分散特性図を図3に示す。分散補償素子28は、中心波長1.558nmに対してはゼロ分散であり、波長1.555nmに対してプラスの分散、波長1.561nmに対してマイナスの分散を与える。

【0023】NRZ方式に対する先の数値例では、信号波長が3nm異なると、1km当たりの波長分散が0.

20 3ps/nm/kmだけ異なり、中継距離が40kmであるから、3nm異なる波長間の累積波長分散の差は12ps/nmとなる。従って、図3に示すように、分散補償光学素子28は、中心波長1.558nmに対してはゼロ分散、波長1.555nmに対する分散を12ps/nm、波長1.561nmに対する分散を-12ps/nmとすればよい。

【0024】図4は、図3に示す特性を具備する分散補償光学素子28による、伝送距離に対する累積波長分散の特性を示す。各光増幅中継器16の分散補償光学素子30 28は、中心の波長1.558nmの光信号に対して何もせず、波長1.555nmの累積波長分散を波長1.558の累積波長分散に一致させ、波長1.561nmの累積波長分散を波長1.558nmの累積波長分散に一致させる。

【0025】光ソリトン伝送方式で分散補償光学素子28に要求される波長分散特性図を図5に示す。光ソリトン伝送方式でも、分散補償光学素子28は、中心波長1.558nmに対してはゼロ分散であり、波長1.555nmに対してプラスの分散、波長1.561nmに対してマイナスの分散を与える。

【0026】光ソリトン伝送方式に対する先の数値例では、信号波長が3nm異なると、1km当たりの波長分散が0.21ps/nm/kmだけ異なり、中継距離が40kmであるから、3nm異なる波長間の累積波長分散の差は、8.4ps/nmとなる。従って、図5に示すように、中心波長1.558nmに対してはゼロ分散、波長1.555nmに対する波長分散を8.4ps/nm、波長1.561nmに対する波長分散を-8.4ps/nmとすればよい。

【0027】図6は、図5に示す特性を具備する分散補

償光学素子28による、伝送距離に対する累積波長分散の特性を示す。各光増幅中継器16の分散補償光学素子28は、波長1, 558 nmの光信号に対しては何もせず、波長1, 555 nmの累積波長分散を波長1, 558 nmの累積波長分散に一致させ、波長1, 561 nmの累積波長分散を波長1, 558 nmの累積波長分散に一致させる。

【0028】このように、波長に対して傾きがマイナスの波長分散特性を具備する分散補償素子28は、組成及び導波構造を適切に選択することで実現可能である。分散補償光学素子28は、光ファイバ構造であるのが好ましく、光ファイバ構造とすることで、他の光ファイバとの接続性が良くなり、使用しやすくなる。

【0029】分散補償光学素子28は、例えば、ファイバ・グレーティング技術を利用することで実現できる。図7は、その概略構成を示す。ゲルマニウムをドープした階段コア型光ファイバ30を水素処理した後、位相マスクを用いて紫外線露光し、これにより、コア32の長手方向に所定周期で周期的に屈折率の高くなる部分を形成した。32aは、コア32の、屈折率の高くなった部分、34はクラッドである。当該位相マスクのピッチは1, 078 nm、紫外線源は波長247 nmのKrFレーザであり、5分間照射した。グレーティングを形成した部分の長さは10 mmである。

【0030】図8は、図7に示すファイバ・グレーティングの群遅延特性を示し、図9は、この群遅延特性に基づく波長分散特性を示す。図9に示されるように、1, 555 nm付近で波長分散をゼロにすることが可能であり、しかも、波長に対してマイナスの傾きになる波長分散特性を実現できている。図9では、その傾きが波長1 nmに対して約5 psである。NRZ伝送方式に対する先の数値例では、3 nmに波長差に対して波長分散が12 ps異なるので、5台の光増幅中継器につき4台の光増幅中継器を、図9に示す波長分散特性の分散補償光学素子28を具備する光増幅中継器とすればよい。

【0031】即ち、本発明は、全光増幅中継器に分散補償光学素子28を設けることを必要とするものではなく、波長分散特性に応じた適当な個数の分散補償光学素子28を適当な間隔で適宜に配置すればよい。

【0032】上記実施例では、分散補償光学素子28の波長分散特性を、特定の波長（例えば1, 558 nm）でゼロとし、他の波長の波長分散を正又は負としたが、波長に対してマイナスの波長分散特性となっている限り、必ずしも特定の波長で波長分散がゼロであることは必要とされない。分散補償光学素子により加減算される波長分散は、それを加味した等化ファイバ18により補償すればよいからである。

【0033】

【発明の効果】以上の説明から容易に理解できるように、本発明によれば、波長分散の波長間の差異を補償し

て、例えば、ゼロにできるので、累積波長分散の波長依存性を解消できる。これにより、波長分割多重方式でも、分散補償方式を活用した長距離及び／又は広帯域伝送を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例の概略構成図である。

【図2】 NRZ伝送方式に適した光増幅中継器16の概略構成ブロック図である。

【図3】 NRZ伝送方式に対する分散補償光学素子28の波長分散特性図である。

【図4】 図3に示す特性を具備する分散補償光学素子28による、伝送距離対累積波長分散の特性図である。

【図5】 光ソリトン伝送方式に対する分散補償光学素子28の波長分散特性図である。

【図6】 図5に示す特性を具備する分散補償光学素子28による、伝送距離対累積波長分散の特性図である。

【図7】 ファイバ・グレーティング技術により実現される分散補償光学素子28の概略構成図である。

【図8】 図7に示すファイバ・グレーティングの群遅延特性である。

【図9】 図8に示す群遅延特性に基づく波長分散特性である。

【図10】 分散補償方式の従来例の概略模式図である。

【図11】 各伝送距離における累積波長分散値を示す図である。

【図12】 波長1, 500 nm帯の光増幅中継器116の概略構成図である。

【図13】 伝送用光ファイバ114及び等化ファイバ118の波長分散の波長特性の模式図である。

【図14】 波長1, 555 nm、1, 558 nm及び1, 561 nmの波長分割多重における、伝送距離に対する累積波長分散特性である。

【符号の説明】

10：光送信端局

12：光受信端局

14：伝送用光ファイバ

16：光増幅中継器

18：等化ファイバ

20：エルビウム・ドープ・ファイバ

22：WDMカプラ

24：ポンプLD（レーザ・ダイオード）モジュール

26：光アイソレータ

28：分散補償光学素子

30：階段コア型光ファイバ

32：コア

32a：コア32の、屈折率の高くなった部分

34：クラッド

110：光送信端局

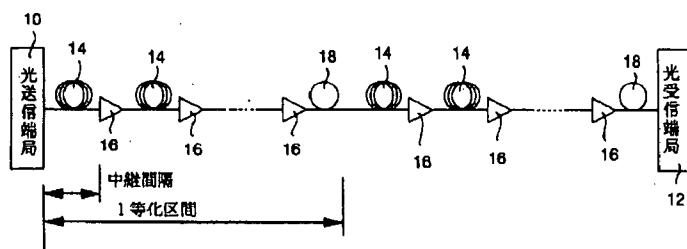
112：光受信端局

114: 伝送用光ファイバ
116: 光増幅中継器
118: 等化ファイバ
120: エルビウム・ドーブ・ファイバ

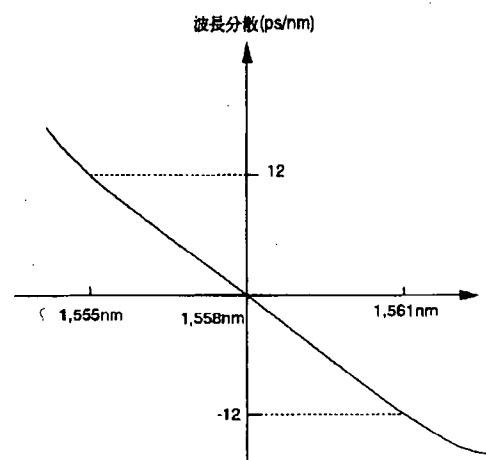
* 122: WDMカプラ
124: ポンプLD(レーザ・ダイオード)モジュール
126: 光アイソレータ

*

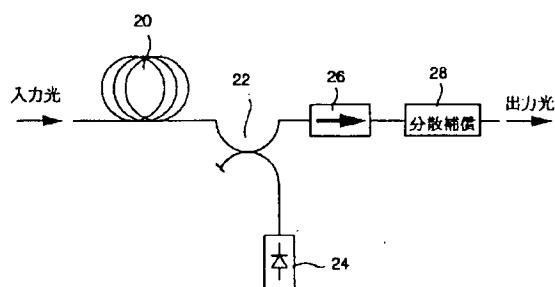
【図1】



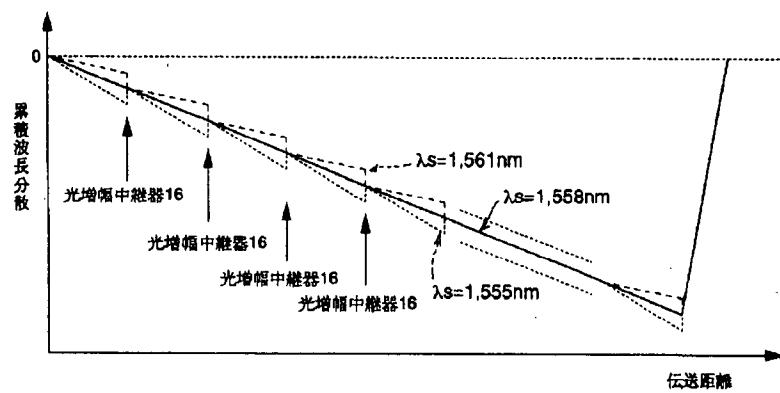
【図3】



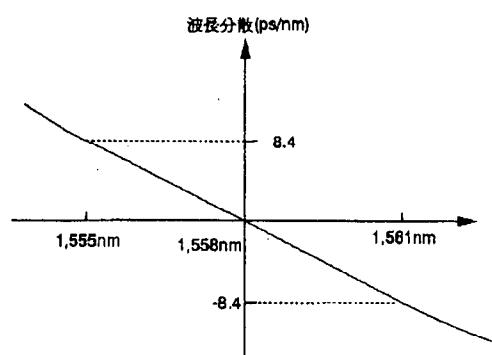
【図2】



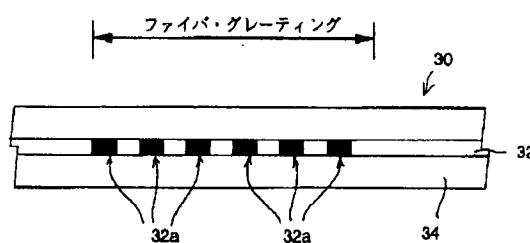
【図4】



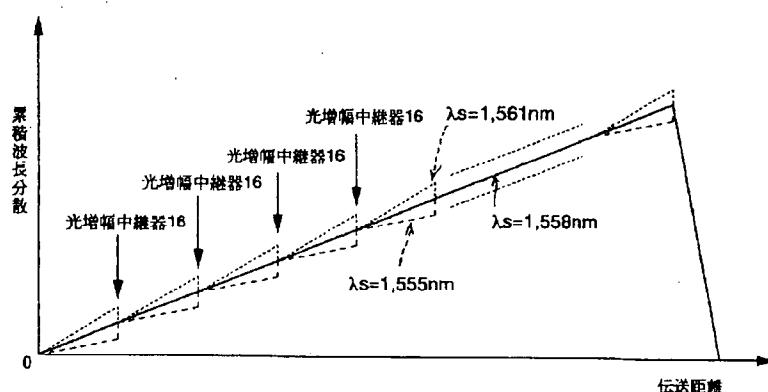
【図5】



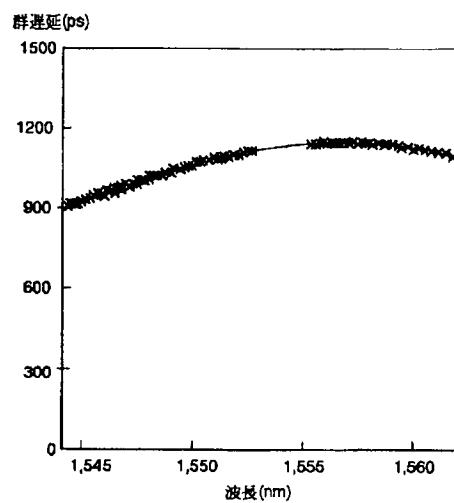
【図7】



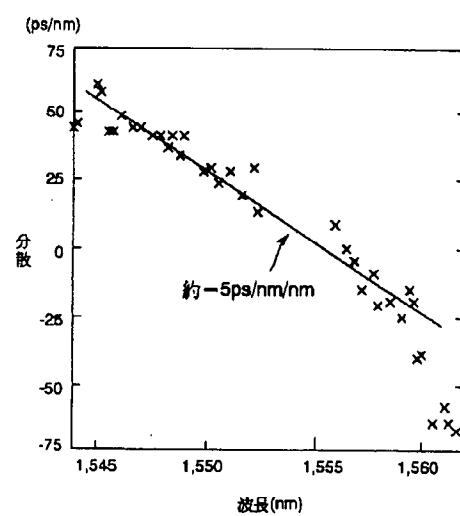
【図6】



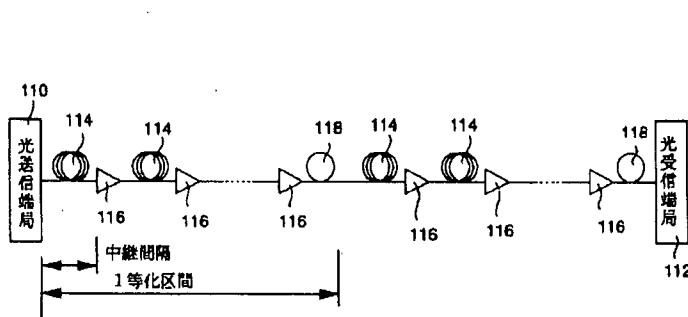
【図8】



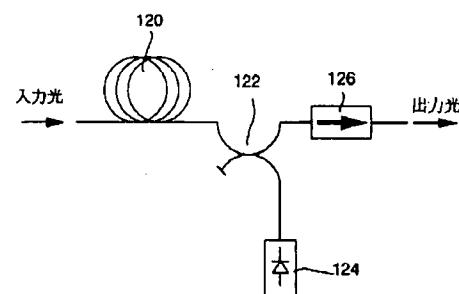
【図9】



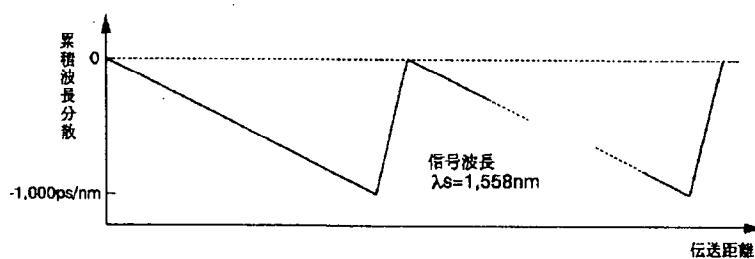
【図10】



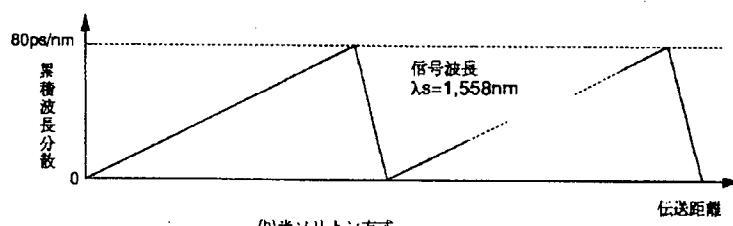
【図12】



【図11】

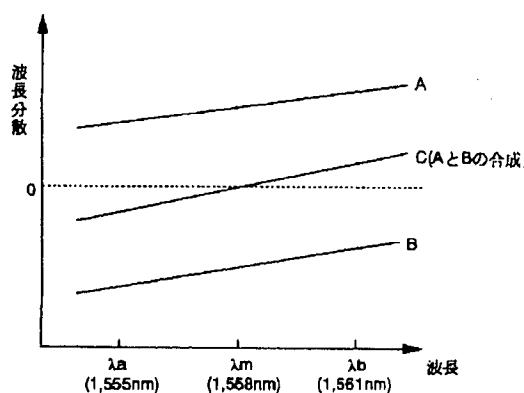


(a)NRZ方式

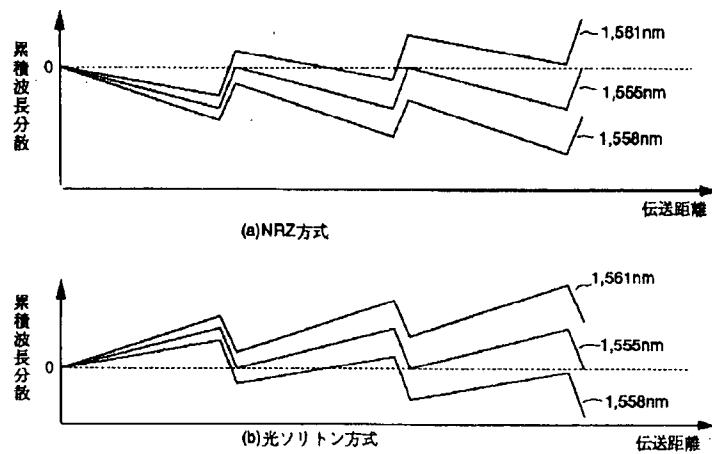


(b)光ソリトン方式

【図13】



【図14】



【手続補正書】

【提出日】平成8年1月10日

* 【補正方法】変更

【手続補正1】

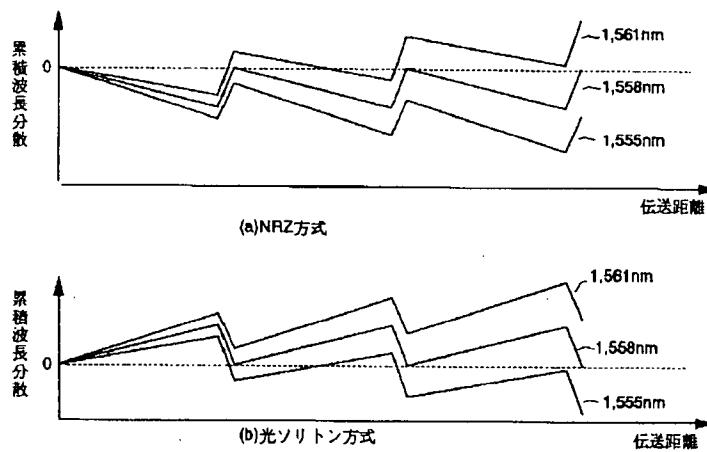
【補正内容】

【補正対象書類名】図面

【図14】

【補正対象項目名】図14

*



フロントページの続き

(51) Int.CI.⁶H 04 J 14/00
14/02

識別記号

府内整理番号

F I

技術表示箇所

(72)発明者 枝川 登

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号国際電
信電話株式会社内

(72)発明者 多賀 秀徳

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号国際電
信電話株式会社内

[0018]

FIG. 1 is a schematic view showing a general construction of one embodiment of the present invention applied to a wavelength division multiplex optical transmission system in a 1.5 μm band. Between an optical transmission terminal station 10 and an optical reception terminal station 12, transmission optical fibers 14, 14, ... are connected via optical amplification repeaters 16, 16, ..., and one equalization fiber 18 is connected to a one-equalization interval. The equalization fiber 18 is typically disposed at a terminal of the equalization interval. The transmission optical fiber 14, for example, is an optical fiber of which wavelength dispersion is almost zero (so-called dispersion shift fiber) in the 1.5 μm band.

[0019]

As in the prior art, a length of one transmission optical fiber 14 (i.e., a repeating distance) is about 40 km; and a distance between one-equalization zones is about 200 km in NRZ transmission system, and about 500 km in optical soliton transmission system. As in an equalization fiber 118, with respect to a central wavelength $\lambda_s = 1,558 \text{ nm}$, the equalization fiber 18 is designed to compensate for wavelength dispersion by means of the transmission optical fiber 14 of a one-equalization interval.

[0020]

The optical amplification repeater 16 of the present embodiment amplifies an optical signal of 1.5 μm band and compensates for a difference in cumulative wavelength dispersion for each wavelength in accordance with wavelength dispersion characteristics of a gradient which is opposite to that of wavelength characteristics of wavelength dispersion of the transmission optical fiber 14 (specifically, a minus gradient relative to the wavelength). In this manner, for example, assuming that wavelength division multiplexing is performed using three wavelengths of 1,555 nm, 1,558 nm, and 1,561 nm, wavelength dispersions of the wavelengths of 1,555 nm and 1,561 nm in the transmission optical fiber 14 are caused to substantially match the wavelength dispersion of the wavelength 1,558 nm. As a result, wavelength

dispersion values which differ from wavelength to wavelength in the transmission optical fibers 14 are adjusted to a constant value which is not dependent on wavelengths by means of the optical amplification repeater 16. After equalization by means of the equalization fiber 18, only a difference in wavelength dispersion based on wavelength dependency of the equalization fiber 18 appears as a difference in cumulative wavelength dispersion of wavelengths, and this is almost ignorable.

[0021]

FIG. 2 shows a general construction of an optical amplification repeater 16 suitable for the NRZ transmission system. This construction is basically identical to that of the prior art, and is different therefrom in that a dispersion compensation element is provided which comprises wavelength dispersion characteristics of a minus gradient relative to wavelengths at the optical output side. The output laser beams of a pump LD (laser diode) module 24 are guided via a WDM coupler 22 to an erbium doped fiber 20 so as to excite the erbium doped fiber 20. An optical isolator 26 for interrupting reflection light is disposed at the downstream side of the WDM coupler 22, and at the further downstream side thereof, a dispersion compensation optical element 28 is connected for compensating for deviation in each wavelength, of wavelength dispersion of the transmission optical fiber 14 connected to a front stage of this optical amplification repeater 16.

[0022]

FIG. 3 shows a chart of wavelength dispersion characteristics required for the dispersion compensation optical element 28 in the NRZ transmission system. The dispersion compensation element 28 is zero-dispersion relative to a central wavelength of 1,558 nm, and imparts positive dispersion to a central wavelength of 1,555 nm and negative dispersion to a wavelength of 1,561 nm.

[0023]

In the previous numerical example relative to the NRZ system, if signal wavelengths are different by 3 nm, wavelength dispersions per 1 km are different by 0.3

ps/nm/km. A repeating distance is 40 km, and thus, a difference in cumulative wavelength dispersion between wavelengths which are different from each other by 3 nm is obtained as 12 ps/nm. Therefore, as shown in FIG. 3, the dispersion compensation optical element 28 may be set to zero dispersion relative to a central wavelength of 1,558 nm; dispersion relative to a wavelength of 1,555 nm may be set to 12 ps/nm; and dispersion relative to a wavelength of 1,561 nm may be set to -12 ps/nm. [0024]

FIG. 4 shows characteristics of cumulative wavelength dispersion relative to a transmission distance by means of the dispersion compensation optical element 28 provided with the characteristics shown in FIG. 3. The dispersion compensation optical element 28 of each optical amplification repeater 16 does nothing relative to an optical signal with a central wavelength of 1,558 nm, matches cumulative wavelength dispersion of a wavelength of 1,555 nm with that of a wavelength of 1,558 nm, and then, matches cumulative wavelength dispersion of a wavelength of 1,561 nm with that of a wavelength of 1,558 nm.

[0025]

FIG. 5 shows a chart of wavelength dispersion characteristics required for the dispersion compensation optical element 28 in an optical soliton transmission system. Also in the optical soliton transmission system, the dispersion compensation optical element 28 is zero-dispersion relative to a central wavelength of 1,558 nm, imparts positive dispersion to a wavelength of 1,555 nm, and imparts negative dispersion to a wavelength of 1,561 nm.

[0026]

In the previous numerical example relative to the optical soliton transmission system, if signal wavelengths are different by 3 nm, wavelength dispersions per 1 km are different by 0.21 ps/nm/km. A repeating distance is 40 km, and thus, a difference in cumulative wavelength dispersion between wavelengths which are different from each other by 3 nm is obtained as 8.4 ps/nm. Therefore, as shown in FIG. 5, zero

dispersion may be set to a central wavelength of 1,558 nm, wavelength dispersion relative to a wavelength of 1,555 nm may be set to 8.4 ps/nm, and wavelength dispersion relative to a wavelength of 1,561 nm may be set to -8.4 ps/nm.

[0027]

FIG. 6 shows characteristics of cumulative wavelength dispersion relative to a transmission distance by means of the dispersion compensation optical element 28 provided with the characteristics shown in FIG. 5. The dispersion compensation optical element 28 of each optical amplification repeater 16 does nothing relative to an optical signal with a central wavelength of 1,558 nm, matches cumulative wavelength dispersion of a wavelength of 1,555 nm with that of a wavelength of 1,558 nm, and then, matches cumulative wavelength dispersion of a wavelength of 1,561 nm with that of a wavelength of 1,558 nm.

[0028]

In this manner, the dispersion compensation element 28 provided with wavelength dispersion characteristics of which a gradient is minus relative to a wavelength can be realized by properly selecting a composition and a waveguide structure. It is preferable that the dispersion compensation optical element 28 should have an optical fiber structure. By providing the optical fiber structure, connectivity with another optical fiber is improved to make the element easy to use.

[0029]

The dispersion compensation optical element 28 can be realized by utilizing a fiber grating technique, for example. FIG. 7 shows a general construction of the optical element. After hydrogen treatment of a germanium-doped stepped core type optical fiber 30, ultraviolet-ray exposure is performed using a phase mask, thereby forming a portion of which a refractive index becomes high periodically at a predetermined period in the longitudinal direction of a core 32. Reference numeral 32a denotes a portion in the core 32 of which refractive index is high, and reference numeral 34 denotes clad portion. Pitches of the phase mask are 1,078 nm, an

ultraviolet-ray source is a KrF laser having a wavelength of 247 nm, and exposure was performed for 5 minutes. A length of a portion of which grating has been formed is 10 mm.

[0030]

FIG. 8 shows group delay characteristics of the fiber grating shown in FIG. 7. FIG. 9 shows wavelength dispersion characteristics based on the group delay characteristics. As shown in FIG. 9, it is possible to set wavelength dispersion to zero in the vicinity of 1,555 nm, and moreover, wavelength dispersion characteristics of which a negative gradient is obtained with respect to a wavelength have been achieved. In FIG. 9, the gradient is about 5 ps relative to a wavelength of 1 nm. In the previous numerical example relative to the NRZ transmission system, wavelength dispersions are different by 12 ps relative to a wavelength difference of 3 nm, and thus, four optical amplification repeaters in every five optical amplification repeaters may be provided as optical amplification repeaters each provided with the dispersion compensation optical element 28 having the wavelength dispersion characteristics shown in FIG. 9.

[0031]

In other words, the present invention does not need to provide the dispersion compensation optical element 28 at all the optical amplification repeaters, and a suitable number of dispersion compensation optical elements 28 according to wavelength dispersion characteristics may be properly disposed at adequate intervals.

[0032]

In the above described embodiment, the wavelength dispersion characteristics of the dispersion compensation optical element 28 are set to zero in a specific wavelength (for example, 1,558 nm), and the wavelength dispersion of other wavelengths is set to be positive or negative. However, wavelength dispersion does not always need to be zero in a specific wavelength as long as negative wavelength dispersion characteristics relative to a wavelength are provided. This is because the wavelength dispersion to be added or subtracted by means of a dispersion

compensation optical element may be compensated for by means of an equalization fiber 18 considering such dispersion.

[0033]

[Advantage of the Invention]

As is easily understood from the foregoing description, according to the present invention, a difference between wavelengths of wavelength dispersion is compensated for, and for example, can be set to zero, so that wavelength dependency of cumulative wavelength dispersion can be eliminated. In this manner, in a wavelength division multiplex system as well, a long distance and/or broadband transmission utilizing a dispersion compensation system can be achieved.

OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM AND OPTICAL REPEATER

Publication number: JP9162805

Publication date: 1997-06-20

Inventor: AKIBA SHIGEYUKI; YAMAMOTO SHU; SUZUKI MASATOSHI; EDAKAWA NOBORU; TAGA HIDENORI

Applicant: KOKUSAI DENSHIN DENWA CO LTD

Classification:

- **international:** G02F1/35; H04B10/02; H04B10/16; H04B10/17; H04B10/18; H04J14/00; H04J14/02; G02B6/34; G02F1/35; H04B10/02; H04B10/16; H04B10/17; H04B10/18; H04J14/00; H04J14/02; G02B6/34; (IPC1-7): H04B10/02; G02F1/35; H04B10/16; H04B10/17; H04B10/18; H04J14/00; H04J14/02

- **European:** H04B10/17D1; H04B10/18D2M

Application number: JP19950314976 19951204

Priority number(s): JP19950314976 19951204

Also published as:

- EP0777347 (A2)
- US5966228 (A1)
- EP0777347 (A3)
- EP0777347 (B1)

[Report a data error here](#)

Abstract of JP9162805

PROBLEM TO BE SOLVED: To avoid the wavelength dependence of wavelength dispersion in a wavelength division multiplex system. **SOLUTION:** Transmission optical fibers 14, 14, ... are connected between an optical transmission terminal station 10 and an optical reception terminal station 12 via optical amplifier repeaters 16, 16, ... and one equalization fiber 18 is connected for one equalization block. The equalization fiber 18 is usually at the end of an equalization block. A dispersion shift fiber, e.g. where wavelength dispersion is nearly zero at a 1.5 μ m band is adopted for the equalization fiber. An optical amplifier repeater 16 is provided with a dispersion compensation optical element having a wavelength dispersion characteristic with an inverse gradient (specifically negative gradation with respect to the wavelength) to a wavelength characteristic of the wavelength dispersion of the transmission optical fiber 14 in addition to an optical amplifier means. A difference from accumulated wavelength dispersion for each wavelength is compensated by using the dispersion compensation optical element. The dispersion compensation optical element is realized by fiber grating.

